

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Juliana Alves Ritter

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MÉTODOS
UTILIZADOS POR DAER-RS E DNIT PARA A
DETERMINAÇÃO DO NÚMERO N**

Porto Alegre
Maio 2021

JULIANA ALVES RITTER

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MÉTODOS
UTILIZADOS POR DAER-RS E DNIT PARA A
DETERMINAÇÃO DO NÚMERO N**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de
Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal
do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do
título de Engenheira Civil

Orientador: Daniel Sergio Presta García

Porto Alegre
Maio 2021

JULIANA ALVES RITTER

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MÉTODOS
UTILIZADOS POR DAER-RS E DNIT PARA A
DETERMINAÇÃO DO NÚMERO N**

Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo/a Professor/a Orientador/a e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Daniel Sergio Presta García (UFRGS)
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Orientador

Prof Lélío Antônio Teixeira Brito (UFRGS)
Ph.D. pela University of Nottingham

Mara Regina Bianchini (DAER-RS)
Ma. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

RESUMO

A determinação do número N é importante no dimensionamento e no monitoramento das condições do pavimento, sendo definido como o número de aplicações dos eixos dos veículos equivalentes à do eixo padrão rodoviário. O bom dimensionamento dos pavimentos requer conhecimentos do volume de tráfego, da configuração dos eixos, da magnitude das cargas, e sua distribuição. Este trabalho compara os métodos utilizados por DAER-RS e DNIT para o cálculo do N, em virtude das diferentes classificações e fatores de veículos utilizados por ambos órgãos. O número N é obtido pelo somatório do produto do volume diário médio para cada classe com seu fator de veículo, o número de dias no ano e o fator de pista, sendo considerados apenas veículos comerciais. O método DAER-RS segue a Instrução de Serviço para Estudos de Tráfego – IS 110/10 (DAER, 2010). Para o método DNIT, considerou-se a classificação proposta pelo Edital nº 811/2012, e os fatores de veículos calculados conforme equações USACE encontradas no Manual de Estudo de Tráfego (DNIT, 2006), para diferentes cenários de carregamento (50, 60, 70, 80 e 100% dos veículos carregados). Observou-se que o N calculado pelo DAER fica entre os cenários de 50 e 60% do DNIT; entretanto representa um subdimensionamento quando comparado ao cenário real obtido com o uso da tecnologia *Weigh-in-Motion* para BR 290/RS (Brito, 2015), que considera o efeito da sobrecarga. Os fatores de veículos utilizados influenciam diretamente na magnitude do N calculado, assim como o agrupamento de veículos com características diferentes na mesma classe leva à camuflagem das suas particularidades.

Palavras-chave: Número N, Classes de Veículos, Fatores de Veículos, Eixos, Carregamentos.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos meus pais, Emerson e Rute, por sempre estarem comigo e por terem me proporcionado as melhores condições ao longo da vida. Aos demais familiares, obrigada pelos momentos vividos juntos e pela torcida.

O agradecimento mais especial não poderia deixar de ser para minha namorada, Raquel, que me incentivou e esteve do meu lado durante todo o processo. Sem ela e sem o Zeca nada seria possível. Obrigada, filhote, pelos miados incentivadores.

Sou grata também à oportunidade que tive de estagiar por dois anos no DAER, onde muito aprendi e cuja experiência foi fundamental para a realização deste trabalho. Agradeço a toda equipe de lá, e em especial à minha supervisora, Sonia, e à Mara, que me auxiliou e orientou sempre que necessário.

Por fim, agradeço ao meu orientador, professor Daniel, que sempre esteve disponível e cujos comentários enriqueceram o trabalho.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Geometria dos eixos.....	4
Figura 2 - Mapa dos trechos selecionados.....	7
Figura 3 - Número N acumulado para os trechos.....	12
Figura 4 – Contribuição de cada classe para o VDM médio total.....	14
Figura 5 - Comparação da classe Ultra Pesada (DAER) com soma das classes C a H (DNIT)	17

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Carga máxima permitida por eixo e tara	4
Tabela 2: FEC AASHTO.....	5
Tabela 3: FEC USACE.....	5
Tabela 4: Correspondência das classes DAER com as categorias DNIT	6
Tabela 5: Classes DAER e seus fatores de veículos.....	8
Tabela 6: Fator de Equivalência de Cargas por eixo	8
Tabela 7: Composição de eixos para categoria representativa	9
Tabela 8: FV USACE para diferentes cenários de carregamento	9
Tabela 9: FV AASHTO para diferentes cenários de carregamento	9
Tabela 10: Peso médio e peso com sobrecarga de acordo com Brito (2015).....	10
Tabela 11: FV USACE para valores médios e cenário real de acordo com Brito (2015)	10
Tabela 12: Número N calculado pelo método DAER e pelo método DNIT (5 cenários)	11
Tabela 13: Diferença entre o número N calculado por DAER e DNIT (FV 50, FV 60 e FV 80).	13
Tabela 14: Equivalência de carregamento dos FV DAER em relação ao DNIT	14
Tabela 15: Diferença dos FV DAER e DNIT (60%) para as classes do DNIT.....	15
Tabela 16: Diferença entre o N DAER classe Pesada e N DNIT 80 classe B (VDM equivalentes).....	15
Tabela 17: Análise entre N DAER classe Ultra Pesada e soma N classes equivalentes DNIT 80 (C, D, E, F, G, H).	16
Tabela 18: Número N e EC calculados para cenários médio e real	18

LISTA DE SIGLAS

AASHTO - *American Association of State Highway and Transportation Officials*

CML - Carga Máxima Legal

CNT - Confederação Nacional do Transporte

CONTRAN - Conselho Nacional de Trânsito

DAER - Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem

DENATRAN - Departamento Nacional de Trânsito

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

EC - Equivalência de Carregamento

ESRD - Eixo Simples de Roda Dupla

ESRS - Eixo Simples de Roda Simples

ETD - Eixo Tandem Duplo

ETT - Eixo Tandem Triplo

FEC - Fator de Equivalência de Carga

FV - Fator de Veículos

IP - Instrução de Projeto

IS - Instrução de Serviço

USACE - *United States Army Corps of Engineers*

VDM - Volume Diário Médio

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1.	Volume Diário Médio de Veículos (VDM).....	3
2.2.	Fator de Veículos (FV)	4
2.2.1.	Tipos de Eixo.....	4
2.2.2.	Fator de Equivalência de Carga por eixo (FEC).....	4
2.3.	Fator de Pista (c)	5
2.4.	N acumulado para o tempo de projeto	6
3.	ESTUDO DE CASO	6
3.1.	Rodovias Analisadas.....	7
4.	MÉTODO	7
4.1.	Método DAER	7
4.2.	Método DNIT	8
4.3.	Estudo Comparativo	10
5.	ANÁLISE DOS RESULTADOS	11
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	18
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19
8.	APÊNDICE	21
8.1.	Resumo VDM e N anual para método DAER e método DNIT.....	21
8.2.	Gráficos número N acumulado para todos os trechos	23

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MÉTODOS UTILIZADOS POR DAER - RS E DNIT PARA A DETERMINAÇÃO DO NÚMERO N

Juliana Alves Ritter

Orientador: Prof. Daniel Sergio Presta Garcia, Dr.

Banca: Prof. Lélío Antônio Teixeira Brito, Ph.D. e Mara Regina Bianchini, Ma.

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Civil

RESUMO

A determinação do número N é importante no dimensionamento e no monitoramento das condições do pavimento, sendo definido como o número de aplicações dos eixos dos veículos equivalentes à do eixo padrão rodoviário. O bom dimensionamento dos pavimentos requer conhecimentos do volume de tráfego, da configuração dos eixos, da magnitude das cargas, e sua distribuição. Este trabalho compara os métodos utilizados por DAER-RS e DNIT para o cálculo do N, em virtude das diferentes classificações e fatores de veículos utilizados por ambos órgãos. O número N é obtido pelo somatório do produto do volume diário médio para cada classe com seu fator de veículo, o número de dias no ano e o fator de pista, sendo considerados apenas veículos comerciais. O método DAER-RS segue a Instrução de Serviço para Estudos de Tráfego – IS 110/10 (DAER, 2010). Para o método DNIT, considerou-se a classificação proposta pelo Edital nº 811/2012, e os fatores de veículos calculados conforme equações USACE encontradas no Manual de Estudo de Tráfego (DNIT, 2006), para diferentes cenários de carregamento (50, 60, 70, 80 e 100% dos veículos carregados). Observou-se que o N calculado pelo DAER fica entre os cenários de 50 e 60% do DNIT; entretanto representa um subdimensionamento quando comparado ao cenário real obtido com o uso da tecnologia *Weigh-in-Motion* para BR 290/RS (Brito, 2015), que considera o efeito da sobrecarga. Os fatores de veículos utilizados influenciam diretamente na magnitude do N calculado, assim como o agrupamento de veículos com características diferentes na mesma classe leva à camuflagem das suas particularidades.

ABSTRACT

Determining the Equivalent Single Axle Loading (ESAL) is important in measuring and monitoring pavement conditions. It is defined as the number of applications of the vehicle axles equivalent to the application of the standard vehicular axle. Well-dimensioning the pavement requires knowledge of traffic flow, axles configuration, cargo sizes, and cargo distribution. This paper compares the methods used by DAER-RS and DNIT to determine ESAL, which differ due to the classification and factors of vehicles used by each organ. The ESAL is defined as the summation of the product of the average daily traffic per class with its equivalency factor, the number of days in the current year, and the directional distribution factor. Only commercial vehicles are considered. DAER follows the *Instrução de Serviço para Estudos de Tráfego* – IS 110/10 (DAER, 2010). DNIT considers the classification proposed in Edital number 811/2012, and computes equivalency factors using the USACE equations – which can be found in *Manual de Estudo de Tráfego* (DNIT, 2006) – for different cargo scenarios (50, 60, 70, 80 and 100% of the vehicles completely loaded). It was observed that the ESAL computed by DAER is between the 50 and 60% DNIT cargo scenarios. However, it represents a subdimensioning when compared to the real cargo scenario obtained with the *Weigh-in-Motion* technology for the BR 290/RS road (Brito, 2015), which considers overload. Equivalency factors and the grouping of vehicles of different characteristics directly influence the magnitude of the ESAL.

1. INTRODUÇÃO

As rodovias são a principal forma de movimentação de cargas no estado do Rio Grande do Sul, correspondendo a 85,3% da matriz de transportes, segundo dados da Secretaria do Planejamento, Gestão e Participação Cidadã (SEPLAG, 2013). Considerando rodovias federais, estaduais e municipais, a malha rodoviária gaúcha tem cerca de 155 mil quilômetros de extensão, dos quais apenas 9% são pavimentados; ao considerar apenas as rodovias federais e estaduais, tem-se aproximadamente 17 mil quilômetros, sendo 80% pavimentados. A pavimentação é muito importante para a circulação nas rodovias, pois permite maior resistência aos esforços resultantes do tráfego de veículos e de fenômenos climáticos, além de proporcionar melhores condições de locomoção aos usuários.

O pavimento rodoviário é classificado em dois tipos de acordo com o revestimento utilizado, podendo ser rígido (placas de concreto de cimento Portland) ou flexível (mistura de agregados e ligantes asfálticos). Quando está sob a ação do carregamento dos eixos, o pavimento desloca-se verticalmente, o que é chamado de deflexão. Ao cessar os esforços, uma parte é capaz de se recuperar (resiliente), mas a outra parte do deslocamento pode ser permanente.

Um pavimento bem dimensionado necessita de uma boa previsão do tráfego durante o período de projeto, incluindo magnitude de carga, configuração de eixos e número de repetições de carga. Dados de contagens e pesagens servem de base para caracterizar o trânsito, permitindo um maior conhecimento da situação atual e também maior precisão em projetos futuros. As contagens volumétricas, que podem ser manuais ou automatizadas, permitem determinar o tráfego diário médio anual na rodovia, além de fazer o agrupamento dos veículos em classes preestabelecidas. Veículos mais leves, como carros e motos, têm efeito praticamente nulo sobre o pavimento, sendo os veículos pesados os responsáveis pelos maiores problemas.

As pesagens são importantes para conhecer o carregamento ao qual o pavimento será submetido, pois, ao mesmo tempo em que há veículos trafegando sem nenhuma carga (que ainda exercem esforços, devendo-se considerar o valor da tara), existem outros se deslocando parcial e totalmente carregados, e até mesmo com sobrecarga. Estes últimos intensificam ainda mais os problemas causados, visto que não estão previstos nos projetos. Além disso, é necessário que a carga esteja distribuída adequadamente entre os eixos.

Existe uma tolerância prevista por lei em relação ao peso máximo permitido, em virtude também da imprecisão dos equipamentos de medida. A legislação, entretanto, está em constante mudança. A última atualização foi a MP 1050/2021, a qual determina que a tolerância do peso bruto total é de 12,5% por eixo para cargas acima de 50 toneladas, e de 5% por eixo para cargas inferiores a 50 toneladas.

Entre os defeitos causados pelo tráfego de veículos, podemos citar fadiga por repetição de cargas, escorregamentos por esforços de frenagem e aceleração, e trilhas de roda por compressão do pavimento. Os maiores danos são aqueles que comprometem a estrutura interna, possibilitando infiltração de água da chuva, sendo estes ainda mais onerosos para corrigir. Dados da Pesquisa de Rodovias da Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2019) mostram que para a recuperação do pavimento na malha rodoviária do Rio Grande do Sul, incluindo reconstrução, restauração, manutenção e ações de emergência, são necessários mais de 6 bilhões de reais, dos quais quase 81% são apenas de caráter emergencial.

O número N é definido como número de repetição das aplicações dos eixos dos veículos, equivalentes às do eixo padrão rodoviário durante o período considerado. É uma forma de converter o tráfego real e as cargas transportadas em um índice que indica o mesmo efeito destrutivo. Um passo importante para a determinação do número N são as contagens volumétricas. Também necessita-se do fator de veículos (FV), que relaciona o número de eixos com o fator de equivalência de carga (FEC), para o qual existem algumas relações empíricas já determinadas experimentalmente, a fim de obter o número equivalente de eixos padrão. Para o cálculo do número N de um certo ano, inclui-se ainda um fator de pista.

Uma das diferenças nas metodologias para a determinação deste parâmetro está na obtenção dos FV, que convertem os danos causados por cada veículo em relação ao eixo padrão, de

acordo com sua composição de eixos e o FEC para cada um. Além disso, as diversas maneiras de agrupar os veículos em classes também deve ser analisada.

Os dois métodos mais conhecidos e utilizados para o cálculo dos fatores de equivalência de carga são o da *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO), baseado na perda de serventia do pavimento, e do *United States Army Corps of Engineers* (USACE), que avalia a deformação permanente resultante do afundamento nas trilhas de roda. Em ambos casos, é necessário conhecer o valor de peso bruto total sobre cada eixo para todas as categorias.

Estudos relacionados ao tráfego de veículos, entre eles a determinação do número N como forma de análise e manutenção das condições do pavimento nas rodovias, são uma forma de tentar diminuir os gastos com manutenção e reconstrução dos pavimentos antes do tempo previsto. Além disso, proporcionam ferramentas para o desenvolvimento de projetos mais precisos no futuro.

Este trabalho irá comparar os métodos usados pelo Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem (DAER-RS) e pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) para a determinação do número N, tendo em vista que cada órgão utiliza diferentes classificações e fatores de veículos. O objetivo é entender como as diferenças entre eles influenciam nos resultados obtidos e as consequências disso para o dimensionamento das rodovias.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O número N converte o número de solicitações dos eixos dos veículos de modo a serem equivalentes às do eixo padrão rodoviário. Este padrão é um eixo simples, de rodas duplas e que transmite ao pavimento uma carga total de 8,2 toneladas e 80 psi. Para este cálculo, além de conhecer o volume de veículos que trafegam por ano numa determinada rodovia, também é necessário quantificar o impacto causado por eles, que depende da sua composição de eixos e da distribuição da carga transportada por cada um. Isso é feito para cada classe através do fator de veículos. Ainda é necessário considerar um fator de pista, de acordo com o percentual de veículos comerciais que rodam pela faixa de projeto. A determinação do número N anual é feita de acordo com a equação (1) (DNIT, 2006 - adaptado).

$$N = \sum_{i=1}^{i=k} VDM_i \cdot FV_i \cdot 365 \cdot c \quad (1)$$

Em que:

- N : número equivalente de aplicações do eixo padrão para um determinado ano;
- i : classe do veículo, de 1 a k;
- VDM_i : volume diário médio de veículos da classe i;
- FV_i : fator de veículo da classe i; e
- c : percentual de veículos comerciais na faixa de projeto.

2.1. Volume Diário Médio de Veículos (VDM)

O VDM é obtido a partir dos dados de contagem volumétrica classificatória realizada em um determinado trecho. Normalmente, as contagens são realizadas em um período de 7 dias. No processamento dos dados, é necessário separar os veículos em classes para cada dia e sentido de tráfego, o que pode ser feito com o auxílio de um filtro no *software* Excel. Em seguida, é feita a média entre os dias, e o VDM considerado no cálculo do número N é a soma desta média para os dois sentidos da rodovia (AB e BA). Projeções futuras podem ser calculadas considerando uma taxa de crescimento apropriada.

2.2. Fator de Veículos (FV)

O fator de veículos, necessário para o cálculo do número N, é obtido pelo somatório do fator de equivalência de carga para cada um dos seus eixos.

2.2.1. Tipos de Eixo

São quatro tipos de eixo principais para os veículos comerciais, sendo eles: eixo simples de roda simples (ESRS), eixo simples de roda dupla (ESRD), eixo tandem duplo (ETD) e eixo tandem triplo (ETT). Suas geometrias e carga máxima legal (CML), determinadas pela Resolução do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN) nº 210 de 13/11/2006, estão ilustradas na

Figura 1.

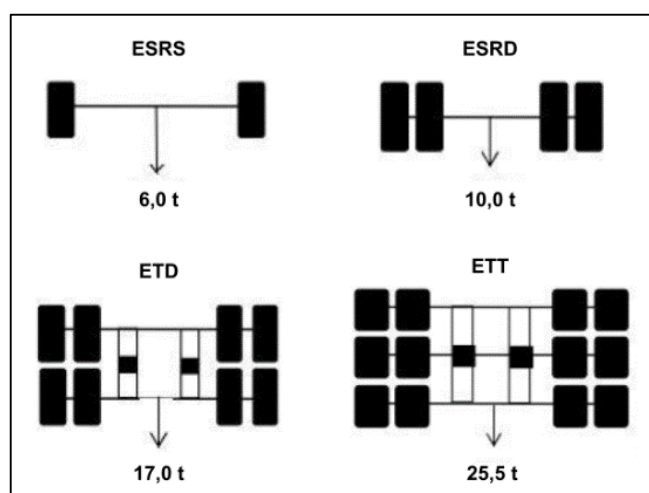


Figura 1: Geometria dos eixos (Fonte: DNIT, 2012 – adaptado)

A Resolução CONTRAN nº 258 de 30/11/2007 estabelece ainda um percentual de tolerância de 5% para o peso máximo permitido, entretanto este valor com a tolerância não é utilizado no dimensionamento dos pavimentos. Os valores de tara considerados foram os propostos na IP-02/2004 Classificação das Vias (São Paulo, 2004). Na Tabela 1, encontram-se os valores de CML e tara para cada tipo de eixo.

Tabela 1: Carga máxima permitida por eixo e tara		
Eixo	CML (t)	Tara (t)
ESRS	6,0	2,7
ESRD	10,0	3,0
ETD	17,0	4,5
ETT	25,5	8,5

2.2.2. Fator de Equivalência de Carga por eixo (FEC)

Os fatores de equivalência de carga (FEC) convertem as solicitações de cada eixo, submetidos a uma determinada carga, em um número de aplicações do eixo padrão que causam o mesmo efeito. Dois métodos para obter os FEC são as equações empíricas propostas pela AASHTO e pelo USACE. Os fatores de equivalência de carga da AASHTO, calculados segundo as equações da Tabela 2, baseiam-se na perda de serventia do pavimento, enquanto os da USACE, baseados na deformação permanente resultante do afundamento nas trilhas de roda, são calculados conforme as equações da Tabela 3.

Tabela 2: FEC AASHTO

Tipos de eixo	Equações (P em tf)
ESRS	$FEC = (P / 7,77)^{4,32}$
ESRD	$FEC = (P / 8,17)^{4,32}$
ETD	$FEC = (P / 15,08)^{4,14}$
ETT	$FEC = (P / 22,95)^{4,22}$

P = peso bruto total sobre o eixo

Fonte: DNIT, 2006 (adaptado)

Tabela 3: FEC USACE

Tipos de eixo	Faixas de Cargas (t)	Equações (P em tf)
ESRS e ESRD	0 – 8	$FEC = 2,0782 \times 10^{-4} \times P^{4,0175}$
	≥ 8	$FEC = 1,8320 \times 10^{-6} \times P^{6,2542}$
ETD	0 – 11	$FEC = 1,5920 \times 10^{-4} \times P^{3,472}$
	≥ 11	$FEC = 1,5280 \times 10^{-6} \times P^{5,484}$
ETT	0 – 18	$FEC = 8,0359 \times 10^{-5} \times P^{3,3549}$
	≥ 18	$FEC = 1,3229 \times 10^{-7} \times P^{5,5789}$

P = peso bruto total sobre o eixo

Fonte: DNIT, 2006 (adaptado)

É necessário conhecer o peso bruto total sobre o eixo, que pode ser obtido através de pesagens, ou aproximado por resultados de pesquisas de Origem e Destino, somando-se a carga transportada à tara do veículo. Na falta de dados, pode-se também usar fatores de equivalência de carga ou de veículos já tabelados, ou calculá-los propondo cenários de carregamento – considerando uma porcentagem da frota trafegando com carga máxima e o resto apenas com a tara, por exemplo, como foi feito para o método DNIT neste trabalho (item 4.2). Quanto maior o conhecimento das condições reais da rodovia através de dados coletados, mais precisa será a avaliação.

Além disso, é importante atentar para as consequências do tráfego de veículos com sobrecarga, que causam danos ainda maiores aos pavimentos. Esta sobrecarga pode ser tanto do peso total do veículo, quanto em função de uma má distribuição das cargas por eixo. O aumento do dano devido a um aumento da carga não é linear, mas sim exponencial, como pode ser observado nas Tabela 2 e Tabela 3, nas quais as equações para o cálculo dos FEC AASHTO e USACE adotam expoentes para o peso bruto total sobre o eixo próximos a 4 e 6 respectivamente. Outra consideração a ser feita é a dificuldade de encontrar valores padrão para as taras dos veículos, estes tendo que ser estimados a partir de outros estudos.

2.3. Fator de Pista (c)

Nos projetos de pavimentação, considera-se o tráfego da faixa mais solicitada da rodovia. Deste modo, o fator de pista é um fator de correção de acordo com o percentual de veículos comerciais na faixa de projeto. No Manual de Estudos de Tráfego (DNIT, 2006) adota-se o valor de 0,5 para rodovia de pista simples, valor que também é citado na Instrução de Serviço para Estudos de Tráfego (DAER, 2010). Outra forma de obtê-lo é calculando a razão entre o número de veículos comerciais que passa em cada um dos sentidos e o total, escolhendo o de maior valor. Neste estudo, todas as rodovias selecionadas foram de pista simples, a fim de fixar esse fator e permitir que o foco da análise sejam as diferenças das classificações e dos fatores de veículos utilizados.

2.4. N acumulado para o tempo de projeto

O período de projeto é o tempo para o qual será dimensionado o tráfego ao qual o pavimento será submetido. Em geral, para projetos rodoviários esse tempo é definido como 10 anos. Para estimar o número N para os anos subsequentes, considera-se uma taxa de crescimento de tráfego. A IS para Estudos de Tráfego (DAER, 2010), considera essa taxa como 3%. O cálculo para um determinado ano é feito segundo a equação (2).

$$N_a = N \cdot (1 + t)^a \quad (2)$$

Em que:

- N_a : número N para o ano a;
- N : número N para o ano 0;
- a : ano para o qual está sendo calculado o N; e
- t : taxa de crescimento do tráfego.

O número N acumulado é obtido pelo somatório dos números N para cada ano do período do projeto.

3. ESTUDO DE CASO

Os dados deste estudo foram obtidos através de um serviço terceirizado pelo DAER, entre maio de 2018 e abril de 2019. A empresa DBA Tecnologia ficou responsável por atividades de campo e de classificação manual para toda a malha rodoviária estadual pavimentada, totalizando mais de 500 locais de contagem. A classificação foi feita conforme as categorias definidas pelo Manual de Estudos de Tráfego (DNIT, 2006) e Portaria 086/2006 do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN). Desta forma, foi necessário fazer a correspondência com as classes do DAER, como é mostrado na Tabela 4.

Tabela 4: Correspondência das classes DAER com as categorias DNIT

Classe DAER	Correspondente DNIT
Passeio	P
Coletivo	2CB, 3CB
Carga leve	2C
Carga média	2C
Carga Pesada	3C, 2S1
Carga Ultra Pesada	4CD, 2S2, 2I2, 2S3, 2J3, 2I3, 3S1, 3S2, 3I2, 3S3, 3J3, 3I3, 2C2, 2C3, 3C2, 4R2, 2R4, 3C3, 4R3, 3D4, 2N3, 3N3, 2N4, 2L4, 2J4, 2DL, 3DL, 2LD, 2JD, 3JD, 3LD, 2D4, 3T4, 3V5, 3P5, 3M6, 3N4, 3J5, 3T6, 3Q4, 3M5
Moto	M

Fonte: DBA Tecnologia (adaptado)

As contagens realizadas pela DBA registram os veículos de carga de 2 eixos apenas como categoria DNIT 2C, o que compreende as classes coletivo, carga leve e carga média do DAER. Desta forma foi proposta uma conversão em comum acordo com o DAER, a partir de dados históricos, de 16% dos veículos 2C para a estimativa do VDM de coletivos, 30% dos veículos 2C e 4% dos veículos de passeio para o VDM de cargas leves, e os outros 54% dos veículos 2C para o VDM de cargas médias. Os veículos de 3 eixos correspondem a classe carga pesada e os com 4 ou mais eixos são agrupados na classe carga ultra pesada.

Os levantamentos foram obtidos ao longo de 7 dias, durante 24 horas, para os dois sentidos da rodovia. Na maioria dos trechos foram utilizados equipamentos pneumáticos, que são estendidos transversalmente ao pavimento e registram a passagem de eixos sucessivos; em

outros, a contagem foi feita por feixe de micro-ondas associado com câmera de vídeo. Ambos são métodos automatizados, ainda ocorrendo uma pré-análise por técnicos em campo e uma avaliação por um especialista em tráfego no escritório.

3.1. Rodovias Analisadas

A área escolhida para o estudo foi parte da 6ª Superintendência Regional – Passo Fundo, por se tratar de uma região bastante representativa da malha estadual, possuindo rodovias de tráfego intenso. Ao todo foram selecionadas quatro rodovias com alto volume diário médio de veículos, para cada qual foram considerados três trechos. Por fim também foram escolhidas outras três rodovias de VDM menor do que 1000, a fim de obter uma análise ampla. O estudo foi realizado apenas para rodovias de pista simples.

Os trechos analisados, de acordo com o Sistema Rodoviário Estadual (DAER, 2020) foram: 142ERS0030, 142ERS0050, 142ERS0070; 153RSC1672, 153RSC1690, 153RSC1730; 223ERS0030, 223ERS0050, 223ERS0070; 324ERS0068, 324ERS0210, 324ERS0215; 135ERS9020; 428ERS0010; 463ERS9010. O mapa da Figura 2 mostra onde estão localizados.

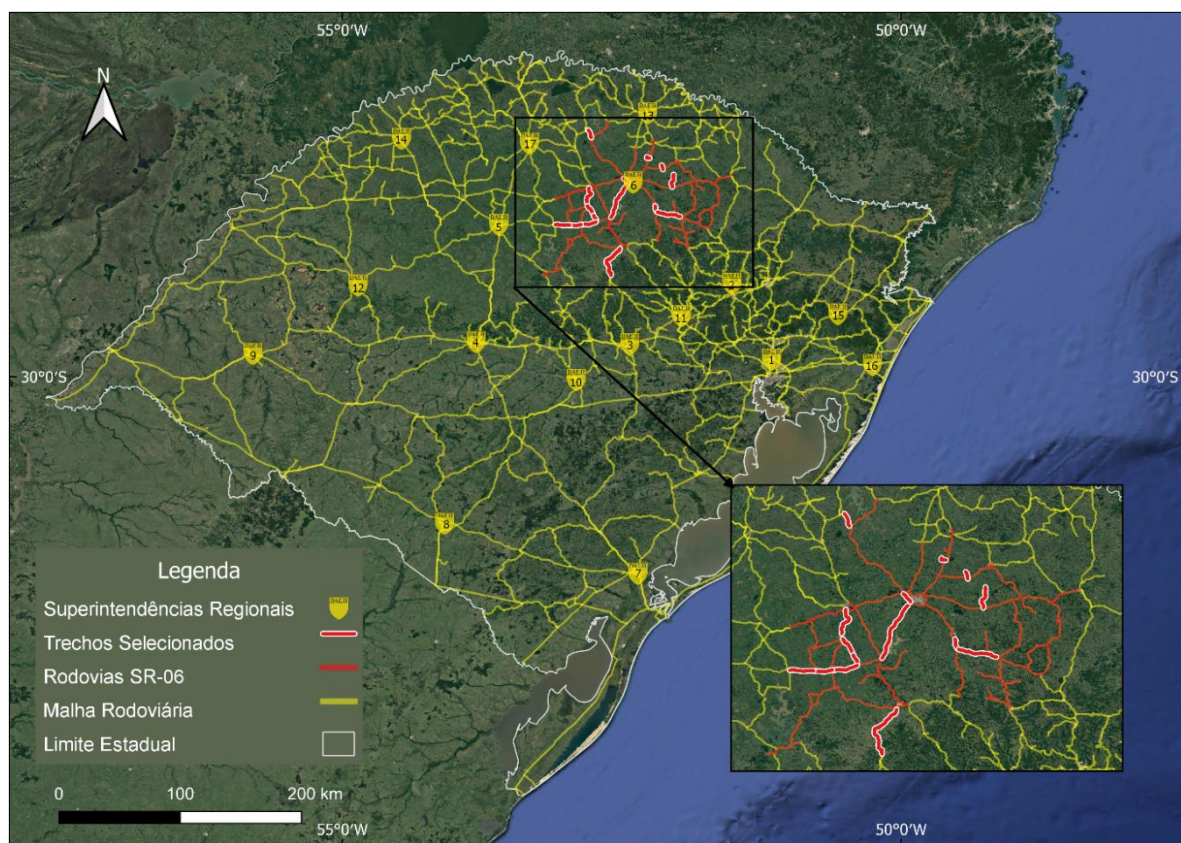


Figura 2: Mapa dos trechos selecionados.

4. MÉTODO

O presente tópico descreve os métodos utilizados por DAER e DNIT para o cálculo do número N, juntamente com a metodologia adotada para o estudo comparativo.

4.1. Método DAER

Os dados brutos dos levantamentos realizados pela empresa DBA Tecnologia foram processados no *software* Excel a fim de determinar o VDM para cada uma das classes

consideradas pelo DAER: passeio, coletivo, carga leve, carga média, carga pesada, carga ultra pesada e moto (vistas na Tabela 4).

Os fatores de veículos utilizados pelo DAER foram obtidos diretamente com órgão e podem ser vistos na Tabela 5. O fator de pista considerado foi 0,5.

Tabela 5: Classes DAER e seus fatores de veículos

Classes DAER	Fator de Veículo
Coletivo	0,3450
Carga Leve	0,0630
Carga Média	1,3710
Carga Pesada	4,9860
Carga Ultra Pesada	11,2050

Fonte: DAER, 2010 (adaptado)

4.2. Método DNIT

Para o cálculo do número N pelo método do DNIT, as categorias de veículos determinadas pelo Manual de Estudos de Tráfego (DNIT, 2006) foram agrupadas em classes de acordo com o número de eixos, conforme o edital nº 811/2012, que especifica os serviços de contagem de tráfego para empresas terceirizadas:

- Classe A: ônibus e caminhões comerciais de 2 eixos.
- Classe B: ônibus e caminhões comerciais de 3 eixos.
- Classe C: combinações de veículos de carga de 4 eixos.
- Classe D: combinações de veículos de carga de 5 eixos.
- Classe E: combinações de veículos de carga de 6 eixos.
- Classe F: combinações de veículos de carga de 7 eixos.
- Classe G: combinações de veículos de carga de 8 eixos.
- Classe H: combinações de veículos de carga de 9 ou mais eixos.
- Classe I: veículos de passeio e utilitários.
- Classe J: motocicletas.

Os dados brutos resultantes do trabalho de campo da empresa DBA foram processados no *software* Excel para determinar o VDM de cada classe. Os fatores de equivalência de carga foram calculados pelas equações USACE e AASHTO, conforme mostrado nas Tabela 3 e Tabela 2 respectivamente, para cada tipo de eixo nas condições carregado (carga máxima permitida) e vazio (apenas a tara). Os resultados podem ser vistos na Tabela 6.

Tabela 6: Fator de Equivalência de Cargas por eixo

Tipos de Eixo	USACE		AASHTO	
	Carregado	Vazio	Carregado	Vazio
ESRS	0,28	0,01	0,33	0,01
ESRD	3,29	0,02	2,39	0,01
ETD	8,55	0,03	1,64	0,01
ETT	9,30	0,11	1,56	0,02

Foi escolhida uma categoria representativa para cada classe – as que comumente mais aparecem em estudos de tráfego – para determinação do fator de veículo, obtido pela soma dos FEC da sua composição de eixos, conforme mostra a Tabela 7. Para o cálculo utilizando os FEC

USACE foram considerados os seguintes cenários de carregamento: 100% dos veículos totalmente carregados (FV100), 80% totalmente carregados e 20% vazios (FV80), 70% totalmente carregados e 30% vazios (FV70), 60% totalmente carregados e 40% vazios (FV60), 50% totalmente carregados e 50% vazios (FV50). Os FV são mostrados na Tabela 8.

Tabela 7: Composição de eixos para categoria representativa

Classe	Eixo	Categoria	Composição de Eixos			
			ESRS	ESRD	ETD	ETT
A	2 E	2C	1	1		
B	3 E	3C	1		1	
C	4 E	2S2	1	1	1	
D	5 E	2S3	1	1		1
E	6 E	3S3	1		1	1
F	7 E	3D4	1		3	
G	8 E	3P5	1		2	1
H	9 E	3T6	1		4	

Tabela 8: FV USACE para diferentes cenários de carregamento

Classes	FV USACE		FV cenários de carregamento				
	Carregado	Vazio	100%	80%	70%	60%	50%
A	3,57	0,03	3,57	2,86	2,51	2,15	1,80
B	8,83	0,04	8,83	7,07	6,19	5,31	4,43
C	12,12	0,06	12,12	9,70	8,50	7,29	6,09
D	12,87	0,13	12,87	10,32	9,05	7,77	6,50
E	18,13	0,15	18,13	14,53	12,73	10,93	9,14
F	25,92	0,10	25,92	20,76	18,18	15,59	13,01
G	26,68	0,18	26,68	21,38	18,73	16,08	13,43
H	34,47	0,13	34,47	27,60	24,17	20,74	17,30

Para a determinação utilizando os FEC AASHTO, foram adotados os mesmos cenários de carregamento, calculando-se o FV100, FV80, FV70, FV60 e FV50. Os fatores de veículos encontrados são mostrados na Tabela 9. O fator de pista considerado foi 0,5.

Tabela 9: FV AASHTO para diferentes cenários de carregamento

Classes	FV AASHTO		FV cenários de carregamento				
	Carregado	Vazio	100%	80%	70%	60%	50%
A	2,72	0,02	2,72	2,18	1,91	1,64	1,37
B	1,97	0,02	1,97	1,58	1,38	1,19	0,99
C	4,36	0,03	4,36	3,50	3,06	2,63	2,20
D	4,28	0,04	4,28	3,43	3,01	2,58	2,16
E	3,53	0,03	3,53	2,83	2,48	2,13	1,78
F	5,25	0,03	5,25	4,21	3,69	3,16	2,64
G	5,17	0,04	5,17	4,15	3,63	3,12	2,61
H	6,90	0,04	6,90	5,52	4,84	4,15	3,47

4.3. Estudo Comparativo

A comparação entre os métodos DAER e DNIT considerou duas hipóteses. A primeira é como os diferentes fatores de veículos utilizados influenciam no resultado. Para isso, é necessário fazer a correspondência dos FV do DAER, tabelados, para os FV do DNIT, calculados para diferentes cenários de carregamento.

Deste modo, foi possível determinar a qual cenário DNIT o método DAER se aproxima. Optou-se analisar o método DNIT apenas para os FEC calculados segundo as equações USACE, uma vez que os fatores utilizados pelo DAER foram fundamentados desta forma, e a fim de garantir uma maior precisão nos resultados obtidos, conforme Reis *et al.* (2017).

A segunda hipótese analisada é como o agrupamento das classes de 4, 5, 6, 7, 8 e 9 ou mais eixos do DNIT em apenas uma classe do DAER, a Ultra Pesada, pode alterar o cálculo desse parâmetro nos dois casos. O objetivo foi entender como a divisão em mais classes interfere na estimativa do número N.

Fez-se, além disso, uma comparação com os valores médios e o cenário real encontrado por Brito (2015), que considerou as condições da frota de veículos solicitando o pavimento da rodovia BR-290 através de pesagens *Weigh-in-Motion* (WIM). O sistema WIM é uma tecnologia de caracterização de rodovias, que determina o valor de carga por eixo através de sensores nos pavimentos, sem a necessidade de parar os veículos.

Dentro da frota analisada, 87% dos veículos estavam trafegando com valores médios, e os outros 13% trafegavam com sobrecarga. Esses valores podem ser vistos na Tabela 10, e os fatores de veículos USACE calculados para cada classe nos dois casos podem ser vistos na Tabela 11.

Tabela 10: Peso médio e peso com sobrecarga de acordo com Brito (2015)

Tipo de Eixo	Peso médio (tf)	Peso sobrecarga (tf)
ESRS	4,32	7,08
ESRD	7,40	12,20
ETD	14,97	24,55
ETT	22,96	35,32

Tabela 11: FV USACE para valores médios e cenário real de acordo com Brito (2015)

Classe	FV médio	FV real
A	0,71	2,17
B	4,32	12,17
C	4,97	14,22
D	5,29	13,60
E	8,90	23,60
F	12,84	36,25
G	13,16	35,64
H	17,09	48,30

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Calculou-se o número N anual da rodovia pelo método do DAER e do DNIT, fazendo o somatório do produto do VDM para cada categoria com seu FV correspondente, além de multiplicar pelo número de dias em um ano e pelo fator de pista. Os resultados encontrados podem ser vistos na Tabela 12, juntamente com VDM total de veículos de carga (soma dos VDM das classes comerciais).

Para melhor visualização, os trechos 153RSC1672, 463ERS9010 e 142ERS0030 foram representados de forma gráfica, o que pode ser visto na Figura 3. Um resumo do VDM e número N anual calculados para cada trecho se encontra no apêndice (item 8.1), assim como os gráficos do N acumulado (item 8.2).

Tabela 12: Número N calculado pelo método DAER e pelo método DNIT (5 cenários)

Trecho	VDM Cargas	N DAER	N DNIT				
			50%	60%	70%	80%	100%
142ERS0030	552	2,76E+05	2,77E+05	3,31E+05	3,86E+05	4,40E+05	5,50E+05
142ERS0050	178	8,70E+04	8,83E+04	1,06E+05	1,23E+05	1,41E+05	1,75E+05
142ERS0070	331	2,63E+05	2,50E+05	2,99E+05	3,48E+05	3,98E+05	4,96E+05
153RSC1672	2249	2,31E+06	2,08E+06	2,49E+06	2,90E+06	3,32E+06	4,14E+06
153RSC1690	1744	2,03E+06	1,79E+06	2,14E+06	2,50E+06	2,85E+06	3,55E+06
153RSC1730	380	2,28E+05	2,07E+05	2,48E+05	2,89E+05	3,29E+05	4,11E+05
223ERS0030	640	3,97E+05	3,62E+05	4,34E+05	5,05E+05	5,77E+05	7,20E+05
223ERS0050	1209	1,09E+06	8,98E+05	1,08E+06	1,25E+06	1,43E+06	1,79E+06
223ERS0070	1567	1,59E+06	1,37E+06	1,64E+06	1,91E+06	2,18E+06	2,72E+06
324ERS0068	465	2,77E+05	2,56E+05	3,07E+05	3,57E+05	4,08E+05	5,09E+05
324ERS0210	2196	1,99E+06	1,83E+06	2,19E+06	2,55E+06	2,91E+06	3,64E+06
324ERS0215	1491	1,39E+06	1,14E+06	1,37E+06	1,59E+06	1,82E+06	2,27E+06
135ERS9020	39	1,61E+04	1,82E+04	2,18E+04	2,54E+04	2,90E+04	3,62E+04
428ERS0010	156	1,18E+05	1,06E+05	1,27E+05	1,48E+05	1,70E+05	2,12E+05
463ERS9010	64	4,84E+04	4,60E+04	5,51E+04	6,42E+04	7,33E+04	9,14E+04

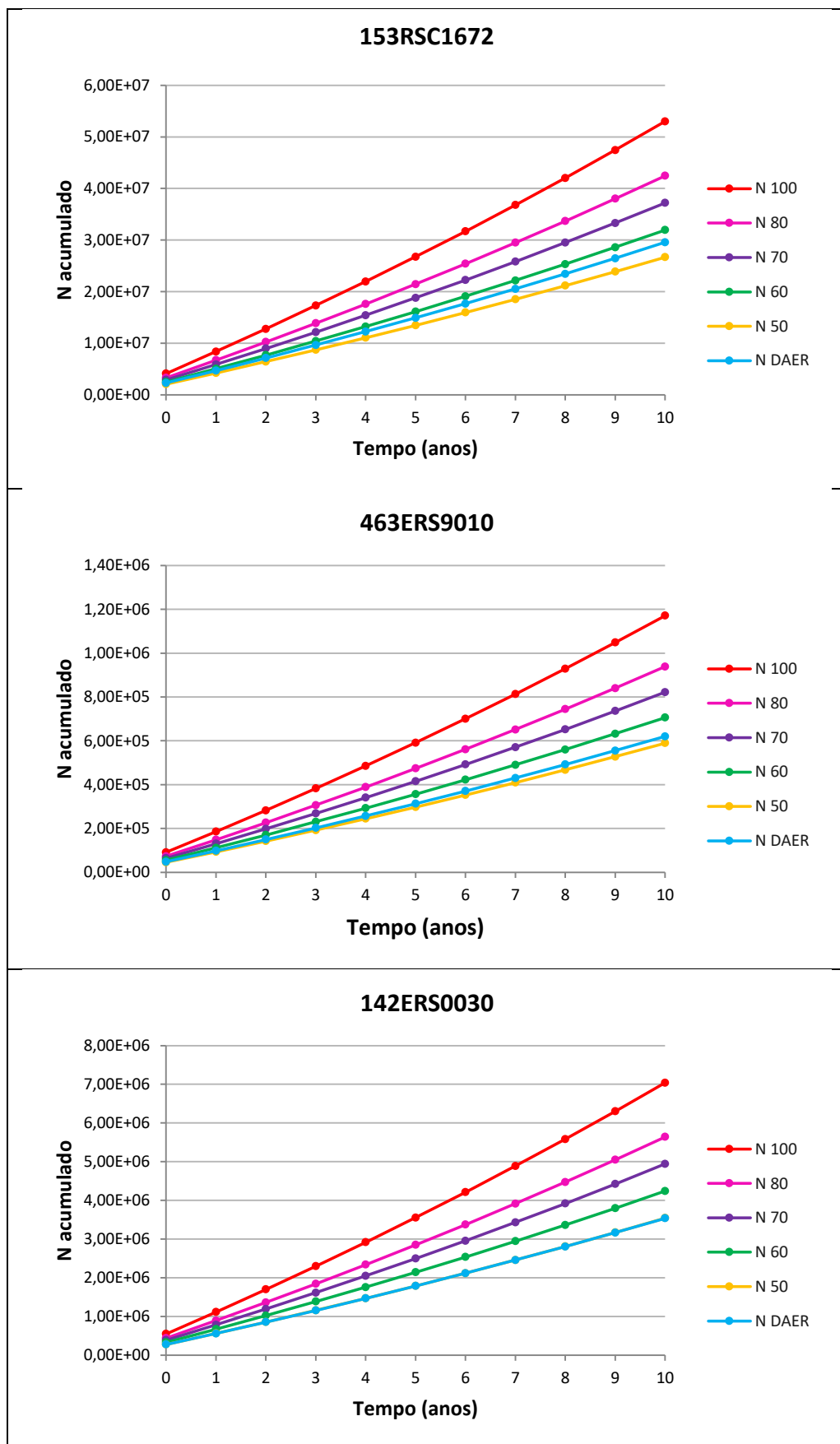


Figura 3: Número N acumulado para os trechos.

A partir destes valores foi possível perceber que o número N calculado pelo DAER está entre os cenários do DNIT de 50% e 60% dos veículos carregados. Determinou-se, então, a diferença entre N DAER e N DNIT para esses casos pela equação (3), e o resultado encontrado é mostrado na Tabela 13. Também se calculou a média e a média quadrática para a diferença, obtendo os valores de -9% e 12% respectivamente para o cenário N DNIT 50, e de 9% e 12% respectivamente para o cenário N DNIT 60, indicando que o N DAER está entre estes dois. Inclui-se, ainda, a diferença para o cenário DNIT de 80% dos veículos carregados, importante para o decorrer da análise.

$$Diferença (\%) = \left(\frac{N_{DNIT} - N_{DAER}}{N_{DNIT}} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

Tabela 13: Diferença entre o número N calculado por DAER e DNIT (FV 50, FV 60 e FV 80).

Trecho	VDM Cargas	Diferença N DNIT 50	Diferença N DNIT 60	Diferença N DNIT 80
142ERS0030	552	0%	17%	37%
142ERS0050	178	1%	18%	38%
142ERS0070	331	-5%	12%	34%
153RSC1672	2249	-11%	7%	30%
153RSC1690	1744	-14%	5%	29%
153RSC1730	380	-10%	8%	31%
223ERS0030	640	-10%	8%	31%
223ERS0050	1209	-21%	-1%	24%
223ERS0070	1567	-16%	3%	27%
324ERS0068	465	-8%	10%	32%
324ERS0210	2196	-9%	9%	32%
324ERS0215	1491	-21%	-1%	24%
135ERS9020	39	11%	26%	44%
428ERS0010	156	-11%	7%	30%
463ERS9010	64	-5%	12%	34%
Média		-9%	9%	32%
Média Quadrática		12%	12%	32%

Outra maneira de chegar a este resultado é determinando a equivalência de carregamento (EC) das classes do DAER, fazendo sua correspondência às classes do DNIT. Para isso, duas considerações foram feitas: para classe A do DNIT (veículos de 2 eixos), que contempla as classes coletivo, leve e média do DAER, considerou-se o maior FV, carga média (1,37); nas classes C a H do DNIT, que estão agrupadas como Ultra Pesada DAER, foi considerado o mesmo FV para todas (11,21). A equivalência de carregamento para cada classe foi calculada conforme a equação (4). A média dos valores EC encontrados para cada classe é de 56%. Calculando a média dos valores EC das classes ponderada pelo seu VDM, obtém-se 51%. Os resultados podem ser vistos na Tabela 14. O gráfico da Figura 4 permite entender melhor a contribuição de cada classe.

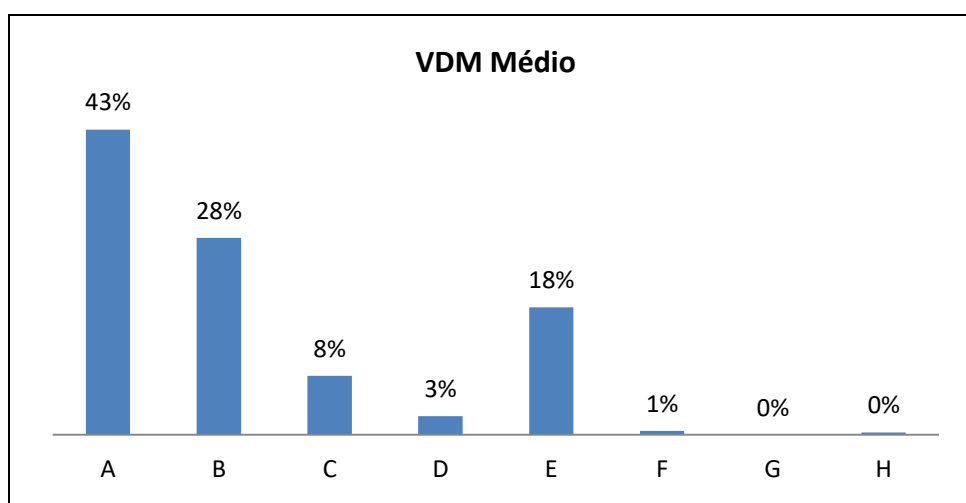
$$EC(\%) = \frac{FV_i - FV_{iv}}{FV_{ic} - FV_{iv}} \cdot 100 \quad (4)$$

Em que:

- EC: equivalência de carregamento;
- FV_i : fator de veículo da classe (DAER);
- FV_{ic} : fator de veículo carregado da classe (DNIT); e
- FV_{iv} : fator de veículo vazio da classe (DNIT).

Tabela 14: Equivalência de carregamento dos FV DAER em relação ao DNIT

Classe	VDM médio	FV DNIT		FV DAER	Equivalência Carregamento
		Carregado	Vazio		
A	378	3,57	0,03	1,37	38%
B	244	8,83	0,04	4,99	56%
C	73	12,12	0,06	11,21	92%
D	23	12,87	0,13	11,21	87%
E	158	18,13	0,15	11,21	62%
F	5	25,92	0,10	11,21	43%
G	0	26,68	0,18	11,21	42%
H	3	34,47	0,13	11,21	32%
Média					56%
Média Ponderada					53%

**Figura 4:** Contribuição de cada classe para o VDM médio total

Destaca-se a classe A, que possui o maior VDM médio e a segunda menor equivalência de carregamento (apenas 38%). Em seguida, as classes que mais contribuem são a B e a E, com equivalências de 56% e 62% respectivamente. As classes C e D, que possuem as mais altas equivalências de carregamento, 92% e 87%, contribuem juntas para cerca de 11% do VDM médio. Por fim, as classes F, G e H, também não possuem equivalência de carregamento muito altas, mas estes veículos não são vistos com tanta frequência trafegando pelas rodovias.

A comparação do número N calculado pelo DAER com o cenário de 80% de carregamento do DNIT trouxe resultados interessantes para a análise da influência dos valores de FV adotados e da separação em múltiplas classes. Nos trechos em estudo, o N DNIT 80 calculado foi sempre superior ao N DAER, com diferenças entre 24% e 44%, observadas na Tabela 13. Uma das razões para isto está na diferença dos FV utilizados, conforme mostra a Tabela 15.

Tabela 15: Diferença dos FV DAER e DNIT (60%) para as classes do DNIT.

Classe	FV 80 DNIT	FV DAER	Diferença FV
A	2,86	1,37	52%
B	7,07	4,99	29%
C	9,70	11,21	-15%
D	10,32	11,21	-9%
E	14,53	11,21	23%
F	20,76	11,21	46%
G	21,38	11,21	48%
H	27,60	11,21	59%

Nota-se que para a maioria das classes - A, B, E, F, G e H - os FV utilizados no cálculo do DNIT são consideravelmente maiores que os do DAER, enquanto que para as classes C e D eles são menores. Assim, quando a ocorrência destas últimas é maior, elas contribuem para atenuar as diferenças entre os números N de DAER e DNIT 80.

Uma forma de comparar a diferença entre os fatores de veículos para os dois órgãos é destacando as classes Pesada DAER e B DNIT, uma vez que elas contemplam exatamente os mesmos veículos (3 eixos), possuindo o mesmo VDM. Calculando o número N apenas para estas duas classes, é possível observar na Tabela 16 que, para todos os trechos, a diferença entre DAER e DNIT é sempre constante, e é a mesma obtida entre os próprios FV (Tabela 15).

Tabela 16: Diferença entre o N DAER classe Pesada e N DNIT 80 classe B (VDM equivalentes).

Trecho	VDM 3 Eixos	N DAER Classe Pesada	N DNIT 80 Classe B	Diferença
142ERS0030	68	6,17E+04	8,75E+04	29%
142ERS0050	23	2,09E+04	2,97E+04	29%
142ERS0070	88	8,05E+04	1,14E+05	29%
153RSC1672	614	5,59E+05	7,92E+05	29%
153RSC1690	483	4,40E+05	6,24E+05	29%
153RSC1730	51	4,68E+04	6,64E+04	29%
223ERS0030	93	8,48E+04	1,20E+05	29%
223ERS0050	295	2,68E+05	3,80E+05	29%
223ERS0070	606	5,52E+05	7,82E+05	29%
324ERS0068	80	7,24E+04	1,03E+05	29%
324ERS0210	736	6,69E+05	9,49E+05	29%
324ERS0215	423	3,85E+05	5,45E+05	29%
135ERS9020	7	5,98E+03	8,48E+03	29%
428ERS0010	70	6,34E+04	8,99E+04	29%
463ERS9010	21	1,92E+04	2,73E+04	29%

Para entender como a forma em que os veículos são agrupados em classes influencia no cálculo do número N, convém comparar o N da classe Ultra Pesada (DAER) com o somatório dos N das classes de C a H (DNIT), pois estes contemplam categorias equivalentes. O cenário DNIT de 80% de carregamento é interessante para essa análise, visto que as classes C e D apresentam FV menores do que o equivalente DAER, enquanto as classes de E a H apresentam FV maiores. A diferença calculada entre o N DAER e N DNIT 80 para essas classes é mostrada na Tabela 17, na qual também é determinada a razão da soma dos VDM de veículos de 6 a 9 eixos pela soma dos VDM dos veículos de 4 e 5 eixos.

Tabela 17: Análise entre N DAER classe Ultra P. e soma N classes equivalentes DNIT 80 (C, D, E, F, G, H).

Trecho	VDM 4 e 5 eixos	VDM 6 a 9 eixos	N DAER Ultra Pesada	N DNIT 60 (C a H)	Diferença	Razão VDM
135ERS9020	3	0,1	5,55E+03	4,97E+03	-12%	6%
153RSC1730	67	2	1,43E+05	1,28E+05	-12%	4%
142ERS0050	21	1	4,59E+04	4,18E+04	-10%	5%
324ERS0068	73	5	1,58E+05	1,44E+05	-10%	6%
142ERS0030	69	5	1,52E+05	1,39E+05	-9%	7%
223ERS0030	109	12	2,48E+05	2,35E+05	-6%	11%
428ERS0010	17	5	4,53E+04	4,63E+04	2%	29%
223ERS0050	274	87	7,39E+05	7,62E+05	3%	32%
324ERS0215	291	153	9,08E+05	9,49E+05	4%	52%
223ERS0070	162	321	9,86E+05	1,15E+06	14%	198%
463ERS9010	3	9	2,51E+04	2,98E+04	16%	258%
142ERS0070	26	54	1,64E+05	1,99E+05	17%	206%
324ERS0210	87	509	1,22E+06	1,51E+06	19%	584%
153RSC1672	128	681	1,65E+06	2,09E+06	21%	533%
153RSC1690	102	653	1,54E+06	1,96E+06	21%	639%

Considerando estes resultados, é possível separar os trechos em 3 grupos, que relacionam a diferença entre os N com a razão entre os VDM:

- maior contribuição de veículos de 4 e 5 eixos: evidenciada por uma pequena razão entre os VDM; a diferença dos N DAER e DNIT fica negativa, indicando que o primeiro é maior, uma vez que os FV equivalentes DAER para estas duas classes são maiores do que os do DNIT;
- contribuição significativa tanto de veículos de 4 e 5 eixos, quanto de veículos de 6 a 9 eixos: os N calculados para DAER e DNIT ficam próximos, uma vez que as diferenças dos FV se compensam; e
- maior contribuição de veículos de 6 a 9 eixos: evidenciada por grandes razões entre os VDM; como o FV DNIT para estas classes é maior do que os equivalentes do DAER, a diferença entre eles se acentua positivamente.

Este raciocínio mostra como é possível obter resultados mais próximos da realidade ao dividir os veículos em um maior número de classes, tendo cada uma o seu fator de veículos. Ao considerar um único FV para uma extensa classe de veículos, as particularidades se perdem e o resultado se torna menos representativo. A Figura 5 mostra gráficos com um trecho exemplificando cada grupo respectivamente.

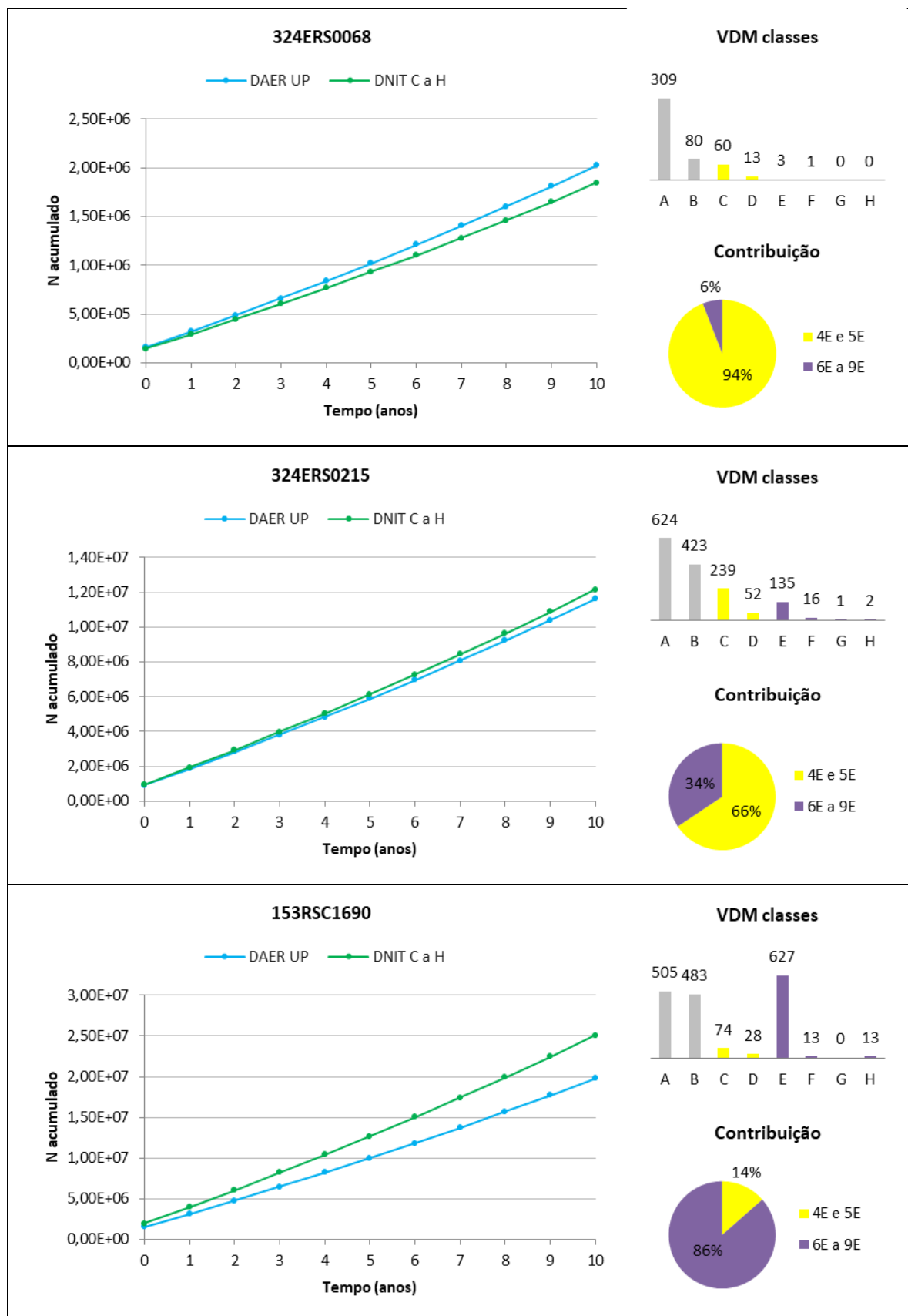


Figura 5: Comparação da classe Ultra Pesada (DAER) com soma das classes C a H (DNIT 80)

Para uma análise comparativa da realidade, determinou-se para cada trecho o número N e sua equivalência de carregamento usando os FV mostrados na Tabela 11. Como é pode se observar na Tabela 18, a EC máxima para o cenário médio, 45%, é inferior à média do DAER (entre 50% e 60%), mas ao considerar a sobrecarga (cenário real), a equivalência mínima é de 93%, indicando valores subdimensionados do DAER.

Uma equivalência de carregamento de 100% indica que todos os veículos estão com a carga máxima permitida. No cenário real, para a maioria dos trechos encontrou-se um valor superior a 100%. Visto que é impossível existir um número de veículos trafegando em uma rodovia maior do que o total, esta porcentagem indica que parte destes veículos estão sobrecarregados. Atualmente, os projetos de dimensionamento não consideram a tolerância nem a sobrecarga.

Tabela 18: Número N e EC calculados para cenários médio e real

Trecho	Cenário Médio Brito		Cenário Real Brito	
	N anual	EC	N anual	EC
142ERS0030	1,80E+05	32%	5,19E+05	95%
142ERS0050	5,72E+04	32%	1,65E+05	94%
142ERS0070	2,08E+05	42%	5,78E+05	117%
153RSC1672	1,85E+06	45%	5,05E+06	123%
153RSC1690	1,63E+06	45%	4,44E+06	125%
153RSC1730	1,41E+05	34%	4,04E+05	99%
223ERS0030	2,53E+05	35%	7,21E+05	100%
223ERS0050	7,22E+05	40%	2,02E+06	114%
223ERS0070	1,22E+06	44%	3,34E+06	123%
324ERS0068	1,78E+05	35%	5,09E+05	100%
324ERS0210	1,61E+06	44%	4,41E+06	122%
324ERS0215	9,44E+05	41%	2,64E+06	116%
135ERS9020	1,17E+04	32%	3,37E+04	93%
428ERS0010	8,86E+04	42%	2,50E+05	119%
463ERS9010	3,84E+04	42%	1,06E+05	116%

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste estudo foi comparar os métodos utilizados por DAER e DNIT para o cálculo do número N. Apesar de o DNIT não apresentar valores definidos de fatores de veículos, foram propostos diferentes cenários de carregamento para viabilizar a análise. Destes cenários, o N DAER ficou entre o N DNIT 50 e N DNIT 60, que representam, respectivamente, 50% e 60% dos veículos totalmente carregados.

Para cada classe, o fator de veículo adotado pelo DAER representa uma equivalência de carregamento diferente. A classe A, que possui o maior VDM médio entre os 15 trechos analisados, ou seja, a que possui a maior quantidade de veículos trafegando nessas rodovias, possui a segunda menor equivalência de carregamento, apenas 38%.

Na comparação feita apenas entre as classes Pesada (DAER) e B (DNIT 80), que contemplam os mesmos veículos, ficou claro como a diferença dos FV utilizados nos dois métodos influencia diretamente na magnitude do número N encontrado. Além disso, ao comparar as classes Ultra Pesada (DAER) com o agrupamento equivalente das classes de C a H (DNIT 80), foi possível observar como as classes do método DNIT têm suas particularidades camufladas por um único fator de veículos no método DAER.

A definição de uma porcentagem de carregamento não é considerada a forma mais objetiva de análise, uma vez que a frota real não trafega apenas cheia ou vazia. Na realidade, o que existe são espectros de carga, que representam essa distribuição para diferentes veículos. Entretanto essa simplificação se fez necessária no contexto de comparação.

Ao comparar o N DAER com cenários referentes a resultados de uma pesquisa na BR-290, observou-se que, para o cenário utilizando as cargas médias encontradas, os valores adotados pelo órgão estadual estariam bem estimados. No entanto, ao considerar a parcela de sobrecarga, percebe-se que o N DAER está subdimensionado em relação ao cenário real.

É importante se atentar aos casos de sobrecarga, uma vez que é possível observar que, para veículos trafegando com cargas acima dos valores permitidos pela lei (CML), o aumento dos danos ao pavimento ocorre de forma exponencial. Entretanto também se faz necessário conhecer valores de tara dos eixos, pois veículos trafegando sem carga também exercem certo efeito nas condições das rodovias.

A fim de aumentar a precisão da análise da malha rodoviária, é fundamental que as contagens volumétricas classificatórias sejam feitas, sempre que possível, associadas a pesagens dos veículos comerciais. Atualmente estão se destacando tecnologias cada vez mais dinâmicas de caracterização das rodovias, como é o caso do sistema *Weigh-in-Motion*.

O subdimensionamento do número N acarreta diminuição na vida útil do pavimento em relação ao tempo de projeto, levando a uma perda de serventia precoce devido a ações de tráfego não previstas. Esta degradação estrutural afeta a qualidade do pavimento, aumentando também o risco de acidentes em virtude das condições irregulares.

Este trabalho pretendeu dar uma pequena contribuição ao vasto universo de estudos de tráfego, tendo ciência que ainda existem inúmeras pesquisas a serem feitas sobre o assunto. Acredita-se que as diferenças apontadas entre os métodos do DAER e do DNIT podem ser úteis em uma futura revisão da Instrução de Serviço do DAER, tendo em vista o subdimensionamento apresentado.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albano, J. F. (2005). *Efeitos dos excessos de carga sobre a durabilidade de pavimentos*. Tese de Doutorado em Engenharia Civil. Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS.
- Bernucci, L. B., Motta, L. M., Ceratti, J. A., & Soares, J. B. (2006). *Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros*. Rio de Janeiro, RJ. Petrobras: ABEDA.
- Bock, A. L. (2016). *Pesagem em movimento de cargas atuantes em rodovias e seu impacto no desempenho de pavimentos da rede temática de asfalto*. Tese de Doutorado em Engenharia Civil. Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS.
- Brito, L. T. (2015). *Relatório Final de Pesquisa - Uso da tecnologia de Weigh-in-Motion (WIM) para avaliação de desempenho de pavimentos asfálticos da BR 290/RS - Freeway*. Porto Alegre, RS.
- CNT. (2019). Pesquisa CNT de Rodovias: Relatório Gerencial. Confederação Nacional do Transporte. Serviço Social do Transporte. Serviço Nacional de Aprendizagem do Transporte. Brasília, DF.
- DAER. (2010). *Instrução de Serviço para Estudos de Tráfego*. IS 110/10. Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem. Porto Alegre, RS.
- DAER. (2020). *Sistema Rodoviário Estadual*. Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem. Porto Alegre, RS. Acesso em 24 de Abril de 2021, disponível em <daer.rs.gov.br/sistema-rodoviario-estadual>.
- DNIT. (2006). *Manual de Estudo de Tráfego*. IPR 723. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro, RJ.

- DNIT. (2012). *Quadro de Fabricantes de Veículos*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Infraestrutura Rodoviária. Coordenação geral de operações Rodoviárias. Rio de Janeiro, RJ.
- Engelke, D. C. (2019). *Caracterização da frota rodante comercial nas rodovias federais brasileiras e o impacto dos carregamentos dos veículos*. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil. Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS.
- Reis, F. P., Mensh, N. G., Brito, L. A., Meirelles, E. B., Luzzi, F. C., Quebaudi, M. R., & Tiefensee, M. D. (2017). Avaliação da influência da sobrecarga dos veículos pesados na rodovia BR-290/RS. *XXXI Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da ANPET*. Recife, PE.
- São Paulo. (2004). *IP-02/2004 Classificação das Vias*. Prefeitura de São Paulo, Secretaria da Infraestrutura Urbana. Prefeitura de São Paulo. São Paulo, SP.
- SEPLAG. (2013). Situação dos Transportes de Carga do Rio Grande do Sul. *RS 2030 - Texto de Referência 3*. Secretaria do Planejamento, Gestão e Participação Cidadã. Porto Alegre, RS.
- Vallejo, F. M., Bernucci, L. L. (2019). Análise do efeito do excesso de carga de veículos comerciais nos fatores de equivalência de carga. *33º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET*. Balneário Camboriú, SC.

Juliana Alves Ritter (juritter@gmail.com)

Daniel Sergio Presta García (daniel.garcia@ufrgs.br)

Departamento de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Av. Osvaldo Aranha, 99 – Porto Alegre, RS

8. APÊNDICE

8.1. Resumo VDM e N anual para método DAER e método DNIT

Trecho	DAER									DNIT																		
	VDM						VDM Cargas	VDM Total	N anual	VDM										VDM Cargas	VDM Total	N anual						
	Passeio	Coletivo	Leve	Média	Pesada	Ultra P.				A	B	C	D	E	F	G	H	I	J			N 50%	N 60%	N 70%	N 80%	N 100%	N Real Brito	N Médio Brito
142ERS0030	2963	66	246	221	68	74	675	3638	2,76E+05	410	68	64	5	3	2	0	0	3086	49	552	3687	2,77E+05	3,31E+05	3,86E+05	4,40E+05	5,50E+05	5,19E+05	1,80E+05
142ERS0050	1153	21	88	72	23	22	226	1379	8,70E+04	132	23	18	3	1	1	0	0	1201	31	178	1410	8,83E+04	1,06E+05	1,23E+05	1,41E+05	1,75E+05	1,65E+05	5,72E+04
142ERS0070	1018	22	83	74	86	80	345	1363	2,63E+05	162	88	22	4	48	4	0	2	1077	71	331	1478	2,50E+05	2,99E+05	3,48E+05	3,98E+05	4,96E+05	5,78E+05	2,08E+05
153RSC1672	6292	116	480	393	597	809	2395	8688	2,31E+06	826	614	80	48	659	0	0	23	6605	345	2249	9199	2,08E+06	2,49E+06	2,90E+06	3,32E+06	4,14E+06	5,05E+06	1,85E+06
153RSC1690	5003	72	343	243	461	755	1875	6877	2,03E+06	505	483	74	28	627	13	0	13	5229	118	1744	7091	1,79E+06	2,14E+06	2,50E+06	2,85E+06	3,55E+06	4,44E+06	1,63E+06
153RSC1730	998	41	119	140	51	70	422	1420	2,28E+05	259	51	61	6	1	1	0	0	1040	5	380	1426	2,07E+05	2,48E+05	2,89E+05	3,29E+05	4,11E+05	4,04E+05	1,41E+05
223ERS0030	2398	68	228	230	93	121	740	3137	3,97E+05	425	93	83	26	7	5	0	0	2497	14	640	3152	3,62E+05	4,34E+05	5,05E+05	5,77E+05	7,20E+05	7,21E+05	2,53E+05
223ERS0050	5074	89	377	299	295	361	1421	6495	1,09E+06	553	295	191	83	57	30	0	0	5286	44	1209	6539	8,98E+05	1,08E+06	1,25E+06	1,43E+06	1,79E+06	2,02E+06	7,22E+05
223ERS0070	3750	71	289	238	584	482	1664	5414	1,59E+06	478	606	114	47	317	1	0	3	4001	98	1567	5666	1,37E+06	1,64E+06	1,91E+06	2,18E+06	2,72E+06	3,34E+06	1,22E+06
324ERS0068	1543	49	157	167	80	77	530	2073	2,77E+05	309	80	60	13	3	1	0	0	1607	24	465	2097	2,56E+05	3,07E+05	3,57E+05	4,08E+05	5,09E+05	5,09E+05	1,78E+05
324ERS0210	7765	124	556	418	714	597	2408	10173	1,99E+06	863	736	71	16	504	4	0	1	8205	215	2196	10616	1,83E+06	2,19E+06	2,55E+06	2,91E+06	3,64E+06	4,41E+06	1,61E+06
324ERS0215	3977	100	353	337	423	444	1657	5633	1,39E+06	624	423	239	52	135	16	1	2	4142	508	1491	6141	1,14E+06	1,37E+06	1,59E+06	1,82E+06	2,27E+06	2,64E+06	9,44E+05
135ERS9020	360	5	24	16	7	3	54	414	1,61E+04	30	7	2	0	0	0	0	0	375	4	39	418	1,82E+04	2,18E+04	2,54E+04	2,90E+04	3,62E+04	3,37E+04	1,17E+04
428ERS0010	429	10	36	33	70	22	170	599	1,18E+05	64	70	14	3	4	0	0	1	446	14	156	616	1,06E+05	1,27E+05	1,48E+05	1,70E+05	2,12E+05	2,50E+05	8,86E+04
463ERS9010	559	4	31	14	21	12	82	641	4,84E+04	31	21	1	2	9	0	0	0	583	8	64	655	4,60E+04	5,51E+04	6,42E+04	7,33E+04	9,14E+04	1,06E+05	3,84E+04

8.2. Gráficos número N acumulado para todos os trechos

